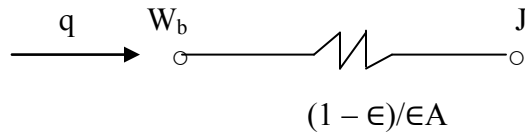


#### 4.6.1 Radiasi Satu Permukaan

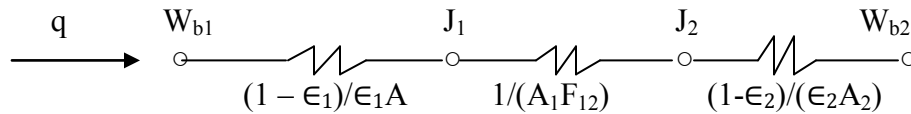
Persamaan radiasi satu permukaan:



$$\begin{aligned} A_{1-2} F_{1-2} &= A_2 F_{2-1} \\ q_{1-2} &= (J_1 - J_2) A_2 F_2 \\ q_{1-2} &= \frac{J_1 - J_2}{\frac{1}{A_1 F_{12}}} \quad (4.35) \\ &= (W_b - J) / [(1 - \epsilon) / \epsilon A] \end{aligned}$$

Gambar 4.9 Tahanan ruang satu permukaan

#### 4.6.2 Radiasi Dua Permukaan

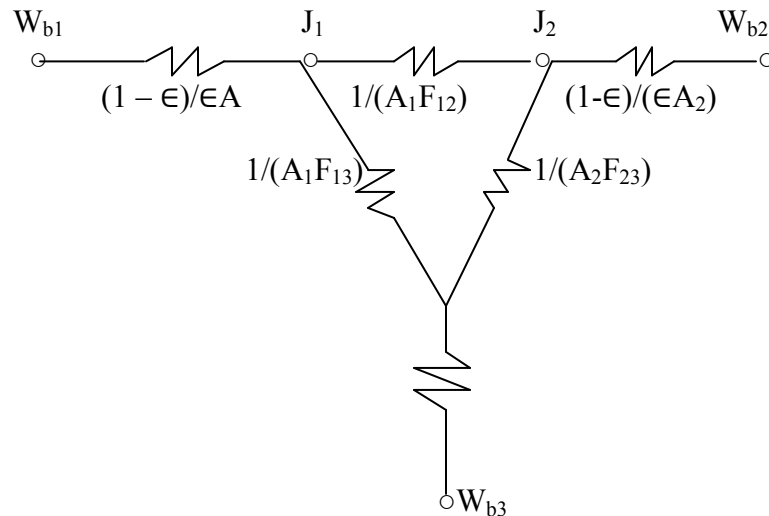


Gambar 4.10 Jaringan radiasi dua permukaan

Persamaan laju perpindahan panas untuk radiasi dua permukaan adalah:

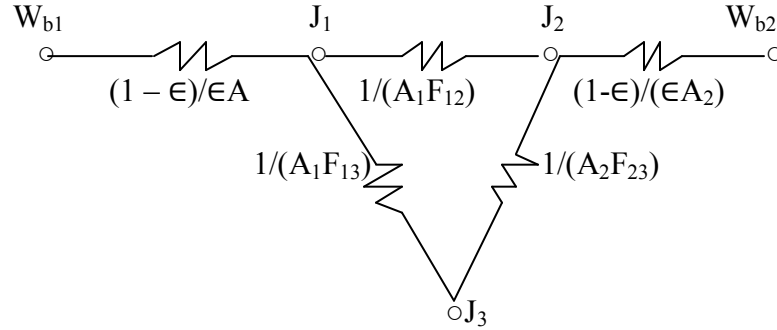
$$q_{\text{net}} = \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1 - \epsilon_1}{\epsilon_1 A_1} + \frac{1}{A_1 F_{12}} + \frac{1 - \epsilon_2}{\epsilon_2 A_2}} \quad (4.36)$$

#### 4.6.3 Radiasi Tiga Permukaan



Gambar 4.11a. Jaringan radiasi tiga permukaan

Bila tiga permukaan hanya menyerap dan tidak meradiasi kembali permasalahannya menjadi lebih mudah, yaitu:



Gambar 4.11b. Jaringan radiasi tiga permukaan yang hanya menyerap dan tidak meradiasi kembali

Susunan seri:

$$\begin{aligned}
 R_s &= \frac{1}{A_1(1-F_{12})} + \frac{1}{A_2(1-F_{22})} \\
 &= \frac{A_2 - A_2F_{12} + A_1 - A_1F_{12}}{A_1A_2 - A_1A_2F_{12} - A_1A_2F_{21} + A_1A_2F_{12}F_{21}} \\
 &= \frac{A_1 + A_2 - 2A_1F_{12}}{A_1A_2 - A_1A_2F_{12} - F_{12} - A_1^2F_{12} + (A_1F_{12})^2} \quad (4.37)
 \end{aligned}$$

Dengan  $A_1F_{12} = A_2F_{21}$

Susunan seri parallel

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{R_{eq}} &= \frac{1}{\frac{1}{A_1F_{12}}} + \frac{A_1A_2 - A_1A_2F_{12} - F_{12} - A_1^2F_{12} + (A_1F_{12})^2}{A_1 + A_2 - 2A_1F_{12}} \\
 &= \frac{A_1F_{12}(A_1 + A_2 - 2A_1F_{12}) + A_1A_2 - A_1A_2F_{12} - A_1^2F_{12} + (A_1F_{12})^2}{A_1 + A_2 - 2A_1F_{12}} \\
 &= \frac{A_1^2F_{12} + A_1A_2F_{12} - 2(A_1F_{12}) + A_1A_2 - A_1A_2F_{12} - A_1^2F_{12} + (A_1F_{12})^2}{A_1 + A_2 - 2A_1F_{12}} \\
 &= \frac{A_1A_2 - (A_1F_{12})^2}{A_1 + A_2 - 2A_1F_{12}}
 \end{aligned}$$

$$R_{eq} = \frac{A_1 A_2 - 2A_1 F_{12}}{A_1 + A_2 - (A_1 F_{12})^2} \quad (4.38)$$

$$R_{total} = \frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1 A_1} + \frac{A_1 A_2 - 2A_1 F_{12}}{A_1 + A_2 - (A_1 F_{12})^2} + \frac{1-\epsilon_2}{\epsilon_2 A_2}$$

$$= \frac{1}{A_1} \left[ \left( \frac{1}{\epsilon_1} - 1 \right) + \frac{A_1 A_2 - 2A_1 F_{12}}{A_2 - A_1 (F_{12})^2} + \frac{A_1}{A_2} \left( \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right) \right] \quad (4.39)$$

Jadi:

$$q_{net} = \frac{\sigma \times A_1 \times (T_1^4 - T_2^4)}{\left( \frac{1}{\epsilon_1} - 1 \right) + \frac{A_1 A_2 - 2A_1 F_{12}}{A_2 - A_1 (F_{12})^2} + \frac{A_1}{A_2} \left( \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)} \quad (4.40)$$

Contoh Soal 4.4:

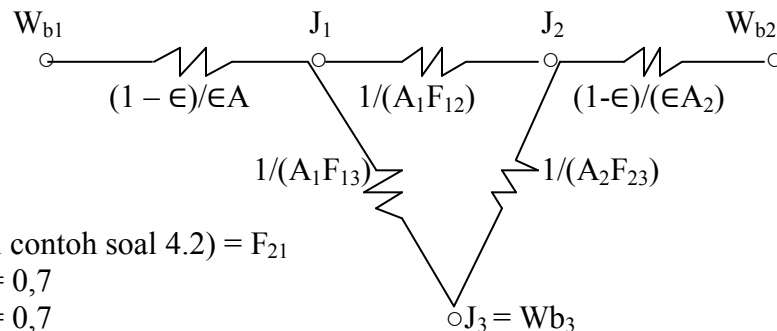
Dua buah pelat parallel berukuran  $0,5 \times 1 \text{ m}^2$  berjarak  $0,5 \text{ m}$  ditempatkan didalam ruangan yang sangat luas. Temperatur masing-masing pelat dipertahankan  $1015^\circ\text{C}$  dan  $505^\circ\text{C}$ . Emisivitas masing masing pelat adalah  $0,3$  dan  $0,5$ , serta temperature ruangan  $25^\circ\text{C}$ .

- Berapa laju perpindahan panas radiasi terhadap masing-masing pelat?
- Berapa laju perpindahan panas terhadap ruangan?

Penyelesaian

Karena ruangan sangat luas, maka:

$$\frac{1-\epsilon_3}{\epsilon_3 A_3} = 0 \longrightarrow W_{b3} = \sigma T_3^4 = J_3$$



$$F_{12} = 0,3 \text{ (dari contoh soal 4.2)} = F_{21}$$

$$F_{13} = 1 - F_{12} = 0,7$$

$$F_{23} = 1 - F_{21} = 0,7$$

Masing-masing tahanan:

$$\frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1 A_1} = 4,67 \quad \frac{1-\epsilon_2}{\epsilon_2 A_2} = 2 \quad \frac{1}{A_1 F_{12}} = 6,667 \quad \frac{1}{A_1 F_{13}} = 2,857 \quad \frac{1}{A_2 F_{23}} = 2,857$$

$$W_{b1} = \sigma \times T_1^4 = 5,669 \times 10^{-8} (1015 + 273)^4 = 156,016 \text{ kW/m}^2$$

$$W_{b2} = \sigma \times T_2^4 = 5,669 \times 10^{-8} (505 + 273)^4 = 20,769 \text{ kW/m}^2$$

$$W_{b3} = \sigma \times T_3^4 = 5,669 \times 10^{-8} (25 + 273)^4 = 0,447 \text{ kW/m}^2$$

$$\text{Titik } J_1 \longrightarrow \frac{W_{b1}-J_1}{4,67} + \frac{J_2-J_1}{6,667} + \frac{W_{b3}-J_1}{2,857} = 0 \quad (1)$$

$$\text{Titik } J_2 \longrightarrow \frac{J_1-J_2}{6,667} + \frac{W_{b3}-J_2}{2,857} + \frac{W_{b2}-J_2}{2} = 0 \quad (2)$$

Eliminasi persamaan titik  $J_1$  dan titik  $J_2$ , diperoleh:

$$J_1 = 50,83 \text{ kW/m}^2$$

$$J_2 = 18,16 \text{ kW/m}^2$$

Total laju perpindahan panas pada pelat 1:

$$q_1 = \frac{W_{b1}-J_1}{(1-\epsilon_1)/\epsilon_1 A_1} = \frac{156,016-50,55}{(1-0,3)/(0,3 \times 0,5)} = 22,5998 \text{ kW}$$

Total laju perpindahan panas pelat 2:

$$q_2 = \frac{W_{b2}-J_2}{(1-\epsilon_2)/\epsilon_2 A_2} = \frac{20,769-17,747}{(1-0,5)/(0,5 \times 0,5)} = 1,511 \text{ kW}$$

Total panas yang diterima ruangan adalah:

$$\frac{J_1-J_3}{1/(A_1 F_{13})} + \frac{J_2-J_3}{1/(A_2 F_{23})} = \frac{50,55-0,447}{2,797} + \frac{17,747-0,447}{2,797} = 24,098 \text{ kW}$$

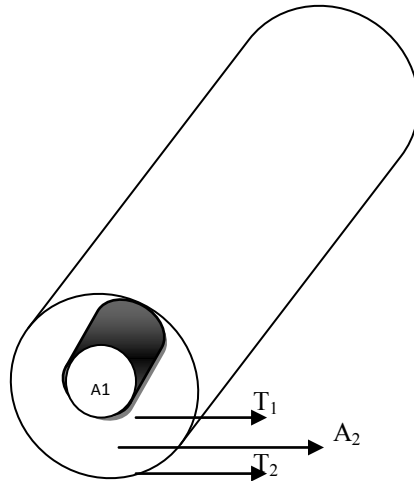
#### 4.7 Bidang-bidang Paralel Tak Berhingga

Bila dua buah bidang parallel tak berhingga, yang luas  $A_1 = A_2$  dan  $F_{12} = 1$ , maka:

$$\frac{q}{A} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} \quad (4.41)$$

Untuk dua buah silinder konsentris:

$$q = \frac{\sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{A_1}{A_2} \left( \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)} \quad (4.43)$$



Gambar 4.12 Radiasi diantara dua bidang paralel

Contoh Soal 4.5:

Dua buah bidang datar kelabu disusun paralel yang mempunyai emisivitas  $\epsilon_1 = 0,9$  dan  $\epsilon_2 = 0,7$  pada permukaan 1 dan dipertahankan pada temperature  $1105^\circ\text{F}$  dan permukaan 2 dipertahankan pada temperature  $615^\circ\text{F}$ .

Hitung: a. radiasi neto dari permukaan 1 ke 2

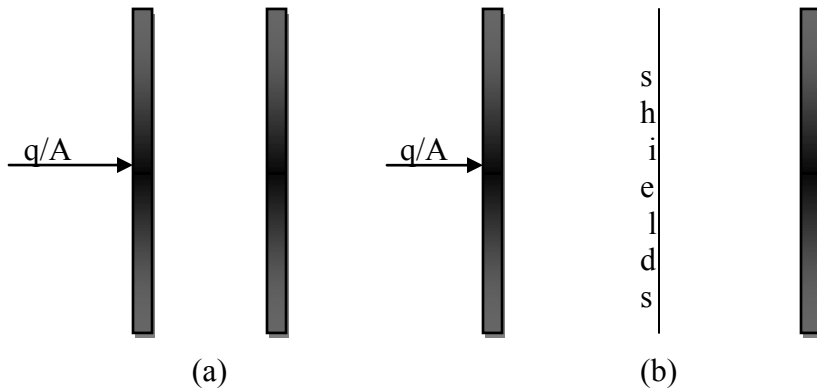
b. jika kedua permukaan hitam, berapa radiasi netonya?

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} \text{a.} \quad \frac{q_{12}}{A_1} &= \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} \\ &= (0,1714 \times 10^{-8}) \frac{[(1105 + 460)^4 - (615 + 460)^4]}{\frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,7} - 1} \\ &= 5191 \text{ Btu/jam ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b.} \quad \frac{q_{12}}{A_1} &= \sigma (T_2^4 - T_1^4) \\ &= (0,1714 \times 10^{-8}) [(1105 + 460)^4 - (615 + 460)^4] \\ &= 7993 \text{ Btu/jam ft}^2 \end{aligned}$$

## 4.8 Pelindung Radiasi (Radiation Shields)



Gambar 4.13 Radiasi dengan pelindung

Laju perpindahan panas radiasi dengan pelindung:

$$\left(\frac{q}{A}\right)_{1-3} = \left(\frac{q}{A}\right)_{3-2} = \frac{q}{A}$$

$$\frac{q}{A} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_3^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_3} - 1} = \frac{\sigma(T_3^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_3} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} \quad (4.44)$$

Jika:  $\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_3$

Maka:

$$T_3^4 = \frac{1}{2}(T_2^4 + T_1^4) \quad (4.45)$$

$$\frac{q}{A} = \frac{\frac{1}{2}\sigma(T_1^4 - T_3^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_3} - 1} \quad (4.46)$$

Contoh Soal 4.6:

Dua buah bidang parallel tak berhingga yang mempunyai emisivitas  $\epsilon_1 = 0,3$  dan  $\epsilon_2 = 0,9$ . Hitung pengurangan laju perpindahan panas, jika diantara dua pelat tersebut dipasang pelindung yang nilai  $\epsilon = 0,04$  dan  $n = 1$ !

Penyelesaian:

Tanpa pelindung

$$\epsilon_1 = 0,3 \quad \epsilon_2 = 0,04$$

$$\frac{q_{12}}{A_1} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} = 0,2903 \sigma(T_1^4 - T_2^4)$$

Dengan pelindung

$$\epsilon_1 = 0,3 \quad \epsilon_2 = 0,04 \quad \epsilon_3 = 0,9$$

$$\frac{1 - \epsilon_1}{1} = 2,333 \quad \frac{1 - \epsilon_2}{2} = 24 \quad \frac{1 - \epsilon_3}{3} = 0,111$$

Tahanan total

$$R = \frac{1 - \epsilon_1}{1} + 2\left(\frac{1 - \epsilon_2}{1}\right) + 2n + \frac{1 - \epsilon_3}{3}$$

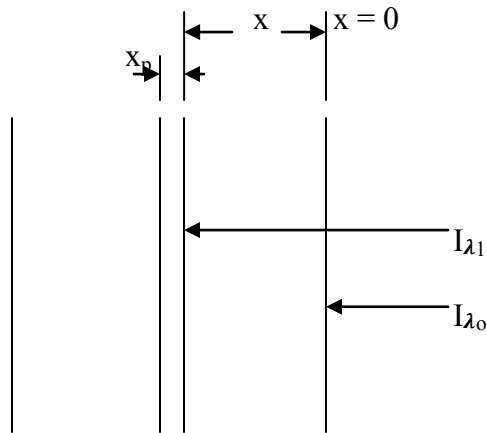
$$= 2,333 + 2(24) + 2(1) + 0,111 = 52,444$$

$$\frac{q}{A} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{52,44} = 0,01907 \sigma(T_1^4 - T_2^4)$$

Prosentasi = 93,43 %

#### 4.9 Radiasi Ke Bahan Semi Transparan

Jenis benda-benda semi transparan adalah plastic, lapisan tipis zat cair, berbagai jenis uap, dan gas. Keterserapan tergantung pada panjang lintasan radiasi.



Gambar 4.14 Berkas radiasi dalam penyerap

Panjang penyerap atau panjang lintas optik ( $L_\lambda$ ) adalah jarak penyusupan ke dalam bahan yang radiasinya telah mendapat redaman tertentu. Hal tersebut berarti intensitas radiasi telah diturunkan sampai beberapa fraksi tertentu dari intensitas awal.

Hubungan persamaan matematisnya adalah:

$$\frac{dI_\lambda}{dx} = -\mu_\lambda I_\lambda \quad (4.47)$$

Dimana:

$$\frac{dI_\lambda}{dx} = \text{redaman persatuan panjang pada suatu nilai } x$$

$\mu_\lambda$  = koefisien serapan

$I_\lambda$  = intensitas monokromatik

Integrasi persamaan (4.47) menghasilkan:

$$\frac{I_\lambda}{I_{0,\lambda}} = e^{-\mu_\lambda x} \quad (4.48)$$

Panjang serapan  $L_\lambda$  adalah nilai  $x$  yang memberikan redaman sampai  $1/e$ , sehingga  $x = L_\lambda$ . Persamaan (4.48) dikalikan  $e^{-1}$ , maka persamaan menjadi:

$$L_\lambda = \frac{1}{\mu_x} \quad (4.49)$$

Dengan  $L_\lambda$  = panjang serapan

$\mu_x$  = koefisien serapan

#### Radiasi Ke Gas Penyerap

Jika suatu gas penyerap dipanaskan, gas akan memberikan radiasi terhadap lingkungan yang lebih dingin pada panjang gelombang sesuai dengan serapannya. Untuk laju perpindahan panas dari gas ke permukaan (bola):

$$\frac{q}{A} = \sigma(\epsilon_G T_G^4 - \alpha_G T^4) \quad (4.50)$$

Dimana:

$T$  = temperature absolute gas

$\epsilon_G$  = emisivitas gas

$\alpha_G$  = serapan gas

$P_G$  = tekanan bagian

$L$  = jari- jari bola

#### Contoh Soal 4.7:

Sebuah tungku berbentuk kubus dengan diameter dalam 0,3 m mempunyai permukaan dinding hitam. Tekanan gas total adalah 1 atm, temperature 1115 K berisi 10% mol CO<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>. Dinding tungku dipertahankan pada temperature 615 K. Hitung laju total perpindahan panas pada dinding, bila konveksi pada dinding diabaikan!

Penyelesaian:

Untuk bentuk kubus  $L = 0,6 D$

Tekanan pantul CO<sub>2</sub> pada  $P_G = 0,1 \times 1 = 0,1 \text{ atm} \longrightarrow P_G L = 0,1(0,180) = 0,018 \text{ atm.m}$

Dari gambar 4.15 untuk  $P_G L = 0,018$  dan  $T_G = 1115 \text{ K}$ , diperoleh  $\epsilon_G = 0,057$

Mencari harga  $\alpha_G$ :

$$P_G L (T_1/T_G) = 0,018(615/1115) = 0,0099 \text{ atm.m}$$

Dari gambar 4.15 diperoleh  $\epsilon_G$  pada  $T_1 = 615 \text{ K}$  adalah 0,043

$\alpha_G = 0,043(1115/615)^{0,65} = 0,0633$ , sehingga:

$$\frac{q}{A} = \sigma(\epsilon_G T_G^4 - \alpha_G T^4) = (5,669 \times 10^{-8}) [(0,057)(1115)^4 - 0,0633(615)^4] = 4,481 \text{ kW/m}^2$$

Untuk kubus  $A = 6 \times 0,3 \times 0,3 = 0,540 \text{ m}^2$

Jadi  $q = 4,481 \times 0,54 = 2,4197 \text{ kW}$

### 4.10 Perpindahan Panas Gabungan Konduksi-Konveksi Radiasi

Dalam banyak kasus, perpindahan panas melibatkan gabungan peristiwa konduksi-konveksi-radiasi sekaligus. Perpindahan panas tersebut berlangsung secara parallel. Hubungan persamaan untuk perpindahan panas total jika lingkungan hitam:



$$\begin{aligned}\frac{q_T}{A} &= \frac{q_C}{A} + \frac{q_r}{A} \\ &= h_c(T_w - T) + \sigma \epsilon_w (T_w^4 - T^4)\end{aligned}\quad (4.51)$$

Dimana:

$\frac{q_T}{A}$  = flux panas total

$\frac{q_C}{A}$  = flux panas melalui konduksi-konveksi

$\frac{q_r}{A}$  = flux panas melalui radiasi

$h_c$  = koefisien perpindahan panas konveksi

$\epsilon_w$  = emisivitas permukaan

$T_w$  = temperature dinding permukaan

$T$  = temperature lingkungan